

بررسی ارتباط بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها - های ایران در دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای

سمیرا رزمجو^۱، پیمان محمودی^{۲*}، سید مهدی امیر جهانشاهی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه

سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان،

ایران

۳. استادیار آمار، گروه آمار، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

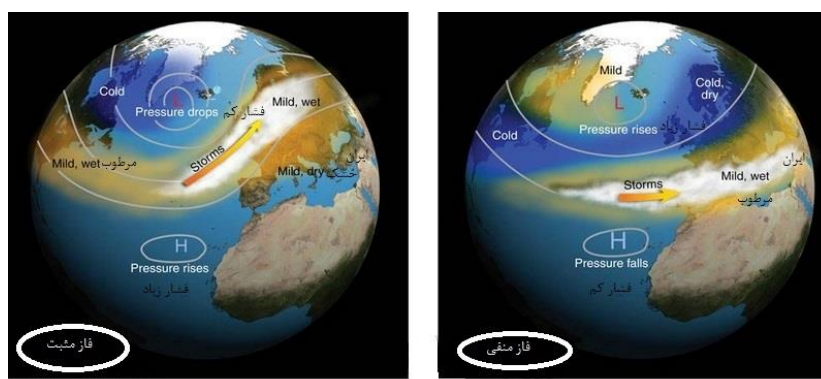
هدف از این مطالعه شناسایی رابطه بین الگوی دورپیوند نوسان اطلس شمالی (NAO) با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای است. برای رسیدن به این هدف از دو پایگاه داده‌ای مختلف استفاده شد. یکی مربوط به داده‌های بارش ماهانه ۶۳ ایستگاه همدید برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۶) است که از سازمان هواشناسی کشور اخذ و دیگری مربوط به مقادیر شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) است که برای همان بازه زمانی از پایگاه داده‌ای مرکز ملی پیش‌بینی محیطی- مرکز ملی پژوهش‌های جوی NCEP/NCAR وابسته به سازمان پژوهش‌های جوی و اقیانوسی ایالات متحده برداشت شد. از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) نیز برای کمی کردن خشکسالی‌های استفاده شد. بعد از محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، بر اساس یک معیار فضایی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در یک مقیاس ماهانه به سه دسته خشکسالی‌ها (ترسالی‌ها)ی فراگیر، خشکسالی‌ها (ترسالی‌ها)ی نیمه فراگیر و خشکسالی‌ها (ترسالی‌ها)ی محلی تقسیم شدند. در نهایت از ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون برای بررسی رابطه بین خشکسالی‌های ایران چه در مقیاس ایستگاهی و چه در مقیاس منطقه‌ای با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در ارتباط همزمان و تاخیرهای یک ماهه، دو ماهه و سه ماهه استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در یک رابطه خطی قادر به تبیین سهم بزرگی از تغییرپذیری خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران چه در مقیاس ایستگاهی و چه در مقیاس منطقه‌ای نبوده است. لذا با توجه به اینکه ساختار اقلیم‌شناسی بارش‌های ایران بسیار پیچیده و همچنین الگوهای همدیدی که در ماه‌ها و فصل‌های مختلف ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند مختلف است، توجه به مدل‌های غیر خطی جهت مطالعه این روابط بسیار ضروری می‌باشد.

واژگان کلیدی: پیوند از دور، شاخص نوسان اطلس شمالی، خشکسالی، ترسالی، همبستگی

مقدمه

شمالی نیز آشکارترین الگوی پیوند از دور نیمکره شمالی به شمار می‌رود. نوسان اطلس شمالی (NAO) در واقع یک پدیده اقلیمی است که از تغییرات فشار سطح دریا بین کم فشار ایسلند و پرفشار آزرز در اقیانوس اطلس شمالی نتیجه می‌شود. گردش جوی در این منطقه از جهان به طور معمول یک تفاوت فشاری قوی بین دو کم فشار ایسلند و پرفشار آزرز، یکی در لبه شمالی اقیانوس اطلس شمالی، نزدیک به جزیره ایسلند، و دیگری در لبه جنوبی آن، نزدیک به جزایر آزرز، را نشان می‌دهد. این تفاوت فشاری باعث می‌شود که بادهای سطحی و سیستم‌های بارانزای عرض‌های میانه از غرب به شرق در امتداد اقیانوس اطلس شمالی، هوای گرم و مرطوب را به قاره اروپا انتقال دهند (Hurrell, 1995). شدت و تداوم این گردش جوی باعث شده است از این ویژگی‌های فشاری به عنوان شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) نام برده شود. شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) دارای دو فاز مثبت و منفی می‌باشد؛ در طول فاز مثبت آن، فشار سطح دریا در مرکز کم فشار ایسلند پایین تر از مقدار میانگین و در پرفشار جنب حاره‌ای آزرز بالاتر از میانگین می‌باشد. اما در فاز منفی این شاخص دقیقاً عکس این شرایط قابل مشاهده است (شکل ۱).

الگوهای پیوند از دور جهت پیش‌بینی میانگین شرایط جوی در دوره‌های زمانی مختلف بسیار استفاده می‌شوند. به بیانی دیگر، برهمکنش بین جو و تغییرات بسیار کندتر آن در اقیانوس‌ها، امکان پیش‌بینی شرایط اقلیمی در مقیاس‌های زمانی متفاوت همچون مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی، سالانه و حتی دهه‌ای را فراهم می‌آورند (Wallace and Guzzler, 1981). پیوند از دور را همواره ارتباط همزمان بین نوسانات عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات الگوهای فشار و دمای سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر تعریف نموده‌اند (Wallace and Guzzler, 1981; Uppenbrink, 1997). با توجه به کارایی مطالعات پیوند از دور در شناخت و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی همچون بارش و دما، تلاش‌های زیادی در جهت شناخت رابطه الگوهای پیوند از دور بر این متغیرها صورت گرفته است (Sen et al., 2011; رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ دارند و رحمانی، ۱۳۹۵؛ خسروی و مسگری، ۱۳۹۵؛ مزیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲). همانگونه که نوسان جنوبی-ال نینو (ENSO) آشکارترین الگوی پیوند از دور نیمکره جنوبی است، نوسان اطلس



شکل ۱- الگوهای جوی بر روی اقیانوس اطلس شمالی در فازهای مثبت و منفی شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) (Beniston, 2009)

اروپا انتقال می‌دهند که نتیجه آن زمستان‌های گرم و مرطوب برای این قسمت از اروپا و زمستان‌های سرد و خشک برای مناطق جنوب اروپا و مدیترانه خواهد بود. اما در طول فاز منفی، با کاهش اختلاف فشار بین مرکز دو کم فشار ایسلند

در طول فاز مثبت، سیستم‌های بارانزای فصل زمستان در طی عبور از روی اقیانوس اطلس شمالی جهتی تقریباً شمال شرقی به خود می‌گیرند. این سیستم‌های بارانزا با این جهت، هوای نسبتاً گرم را از اقیانوس اطلس شمالی به شمال غرب

و پرفشار آوزور، سیستم‌های بارانزای زمستانه ضعیف‌تر و فراوانی آنها نیز کاهش می‌یابد. علاوه بر این، سیستم‌های بارانزا نیز تقریباً یک مسیر جنوبی‌تر را در مقایسه با فاز مثبت به خود می‌گیرند و هوای گرم و مرطوب‌تری را این بار به جنوب اروپا و منطقه مدیترانه انتقال می‌دهند که نتیجه آن قاعداً وقوع زمستان‌های گرم‌تر و مرطوب‌تر برای این مناطق و زمستان‌های سرد و خشک برای شمال اروپا خواهد بود (Hurrell, 1995).

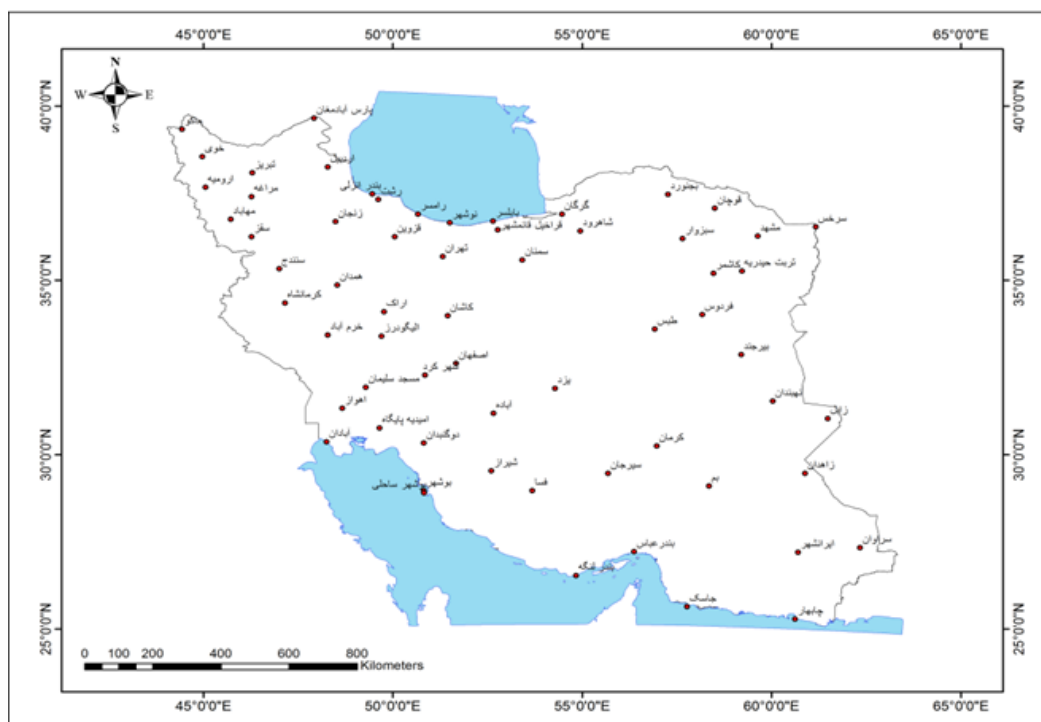
مطالعات بسیاری در نقاط مختلف جهان تلاش داشته‌اند که تغییرپذیری متغیرها و پدیده‌های اقلیمی مورد نظر خود را با استفاده از این شاخص تبیین کنند. Turkes and Erlat (2005) با بررسی رابطه بین تغییرپذیری بارش‌های فصل زمستان ترکیه با تغییرات شاخص نوسان اطلس شمالی نشان دادند که وقوع فاز منفی شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) همراه با افزایش بارش و کاهش دمای فصل زمستان و وقوع فاز مثبت آن همراه با کاهش باران و افزایش دما و در نتیجه ظهور خشکسالی در زمستان برای کل ترکیه خواهد بود. ذالجدی و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه ارتباط بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه اظهار داشتند که هم‌زمانی فاز منفی NAO با رخداد پربارشی و فاز مثبت آن با رخداد کم بارشی در این حوضه همراه است. صلاحی و حاجی‌زاده (۱۳۹۲) ارتباط زمانی بین تغییرات شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) و شاخص‌های دمایی سطحی اقیانوس اطلس را با دما و بارش استان لرستان با روش پیرسون و رگرسیون چندگانه بررسی و دریافتند شاخص نوسان اطلس شمالی در ماه‌های سرد سال دارای همبستگی بیشتری با دما و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است. اکبری و مسعودیان (۱۳۸۶) نشان دادند که اثر هیچ یک از الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی توان تبیین درصد بزرگی از تغییرات دمای قلمرو وسیعی از ایران را در همه ماه‌های سال ندارند با این حال نوسان اطلس شمالی را از قوی‌ترین شاخص‌های اقلیمی موثر بر دمای ایران دانسته‌اند. صلاحی و همکاران (۱۳۸۷) ارتباط نوسان‌های گردش

جوی- اقیانوسی اطلس شمالی با خشکسالی‌های آذربایجان شرقی را مطالعه نموده و اظهار داشتند که بین بارش سالانه ایستگاه‌های تبریز، اهر و جلفا با شاخص نوسانات اطلس شمالی همبستگی منفی ضعیف و معنی‌داری، به ویژه در ترسالی‌ها و خشکسالی‌های فراگیر وجود دارد. فاتحی مرج و همکاران (۱۳۸۵) بارش‌های فصلی دریاچه ارومیه را با استفاده از الگوهای پیوند از دور بررسی و نتیجه گرفتند بارندگی پاییزه بیشتر تحت تاثیر SOI و بارندگی زمستانه بیشتر تحت تاثیر شاخص NAO می‌باشد.

با توجه به پیشینه تحقیقاتی بسیار قوی در زمینه ارتباط بین الگوهای پیوند دور و تغییر پذیری متغیرهای اقلیمی مختلف، چه در سطح جهان و چه در سطح ایران، که به برخی از آنها در بالا نیز اشاره شده است. این مقاله قصد دارد در یک مطالعه جامع ارتباط بین وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران را با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) هم در یک مقیاس ایستگاهی و هم در یک مقیاس منطقه‌ای در بستر یکی از مدل‌های خطی مورد توجه قرار دهد. به این امید که نتایج این مطالعه بتواند دانش مناسبی در خصوص علل وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در اختیار ما قرار دهد.

۲. مواد و روش

در این پژوهش برای بررسی ارتباط بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران از دو مجموعه داده بهره گرفته شد. مجموعه اول داده‌های مربوط به بارش ماهانه ۶۳ ایستگاه هواشناسی همدید بود که برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۶) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. نام، موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۲ آورده شده است. مجموعه دوم نیز مقادیر مربوط به شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) است که برای همان بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۶ از پایگاه داده‌ای مرکز ملی پیش‌بینی محیطی- مرکز ملی پژوهش‌های جوی NCEP/NCAR وابسته به سازمان پژوهش‌های جوی و اقیانوسی ایالات متحده برداشت شد.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) فراگیر: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۷۵ درصد و بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران خشکسالی (یا ترسالی) را اعلام کرده باشند.

اساس تقسیم‌بندی خشکسالی‌ها به سه دسته اشاره شده در بالا بر اساس چارک‌ها بوده است. در آمار توصیفی به هر یک از سه مقداری که یک مجموعه از داده‌های مرتب شده را به چهار بخش مساوی تقسیم می‌کند چارک گفته می‌شود. به اینصورت هر کدام از آن بخش‌ها، یک چهارم از نمونه و یا جمعیت را به نمایش می‌گذارند (بهبودیان، ۱۳۸۱).

بعد از مشخص کردن خشکسالی‌ها در دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای، از ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون برای بررسی رابطه بین خشکسالی‌های ایران چه در مقیاس ایستگاهی و چه در مقیاس منطقه‌ای با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در ارتباط همزمان همزمان و سه تاخیر یک ماهه، دو ماهه و سه ماهه استفاده شد. این ضریب همبستگی میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را که در این جا مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و مقادیر شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) می باشد را می سنجد. مقادیر ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون

بعد از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از پایگاه‌های مختلف داده‌ای و تشکیل بانک اطلاعاتی آنها، از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳، ۱۹۹۵) که یکی از شاخص‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی می‌باشد برای کمی کردن خشکسالی‌های ایران استفاده شد. در این مرحله برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه و در یک مقیاس ماهانه، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) محاسبه شدند. در مرحله بعد بر اساس یک اصل فضایی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران نیز در همان مقیاس ماهانه به سه دسته تقسیم شدند:

- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) محلی: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ درصد و کمتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران خشکسالی (یا ترسالی) اعلام کرده باشند.
- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) نیمه فراگیر: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد کل ایستگاه‌های مورد مطالعه خشکسالی (یا ترسالی) اعلام کرده باشند.

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[\sum x^2 - (\sum x)^2][\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (۱)$$

معنادار بودن این ضریب نیز با استفاده از آماره t -استیودنت آزمون می‌شود. آماره آزمون t استیودنت با درجه آزادی $n - 2$ به صورت معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (۲)$$

در نهایت مقدار t استیودنت به دست آمده از رابطه ۲ با مقدار بحرانی t استیودنت جدول مقایسه می‌شود. هرگاه قدر مطلق t استیودنت محاسباتی کوچکتر از t استیودنت جدول باشد (معادله ۳)، فرض تحقیق در سطح اطمینان $\alpha = 0.05$ پذیرفته می‌شود.

$$|t| > t_{\alpha/2, n-2} \quad (۳)$$

در نهایت برای تفسیر مناسب تر نتایج مربوط به تحلیل همبستگی از طبقه بندی ارائه شده در جدول ۱ ارائه شده است.

همیشه بین ۱- و ۱ تغییر می‌کند. اگر ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون ۱ باشد بیانگر رابطه مستقیم کامل بین دو متغیر است، رابطه مستقیم یا مثبت به این معناست که اگر یکی از متغیرها افزایش یا کاهش یابد، دیگری نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقدار این ضریب ۱- باشد وجود یک رابطه معکوس کامل بین دو متغیر را نشان خواهد داد. رابطه معکوس یا منفی نشان می‌دهد که اگر یک متغیر افزایش یابد متغیر دیگر کاهش می‌یابد و بالعکس. اما زمانی که ضریب همبستگی برابر صفر باشد بین دو متغیر رابطه خطی وجود نداشته است (Wattes and Douglas, 1988). ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون به شکل معادله ۱ ارائه می‌شود:

جدول ۱- طبقات مربوط به مقادیر ضرایب همبستگی گشتاوری پیرسون (عساکره، ۱۳۹۰)

مقادیر همبستگی	طبقات همبستگی
از ۰/۷۰ تا ۱	همبستگی قوی مستقیم
از ۰/۳۰ تا ۰/۶۹	همبستگی متوسط مستقیم
از ۰ تا ۰/۲۹	همبستگی ضعیف مستقیم
از ۰ تا ۰/۲۹	همبستگی ضعیف معکوس
از ۰/۳۰ تا ۰/۶۹	همبستگی متوسط معکوس
از ۰/۷۰ تا ۱-	همبستگی قوی معکوس

در یک مقیاس ماهانه برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، ابتدا ارتباط آماری آنها با شاخص نوسان اطللس شمالی (NAO) در یک مقیاس ایستگاهی بررسی و سپس ارتباط آماری شاخص نوسان اطللس شمالی (NAO) با خشکسالی منطقه ای نیز مورد توجه قرار گرفت. در زیر به تفکیک نتایج این تحلیل برای هر دو مقیاس آورده شده است.

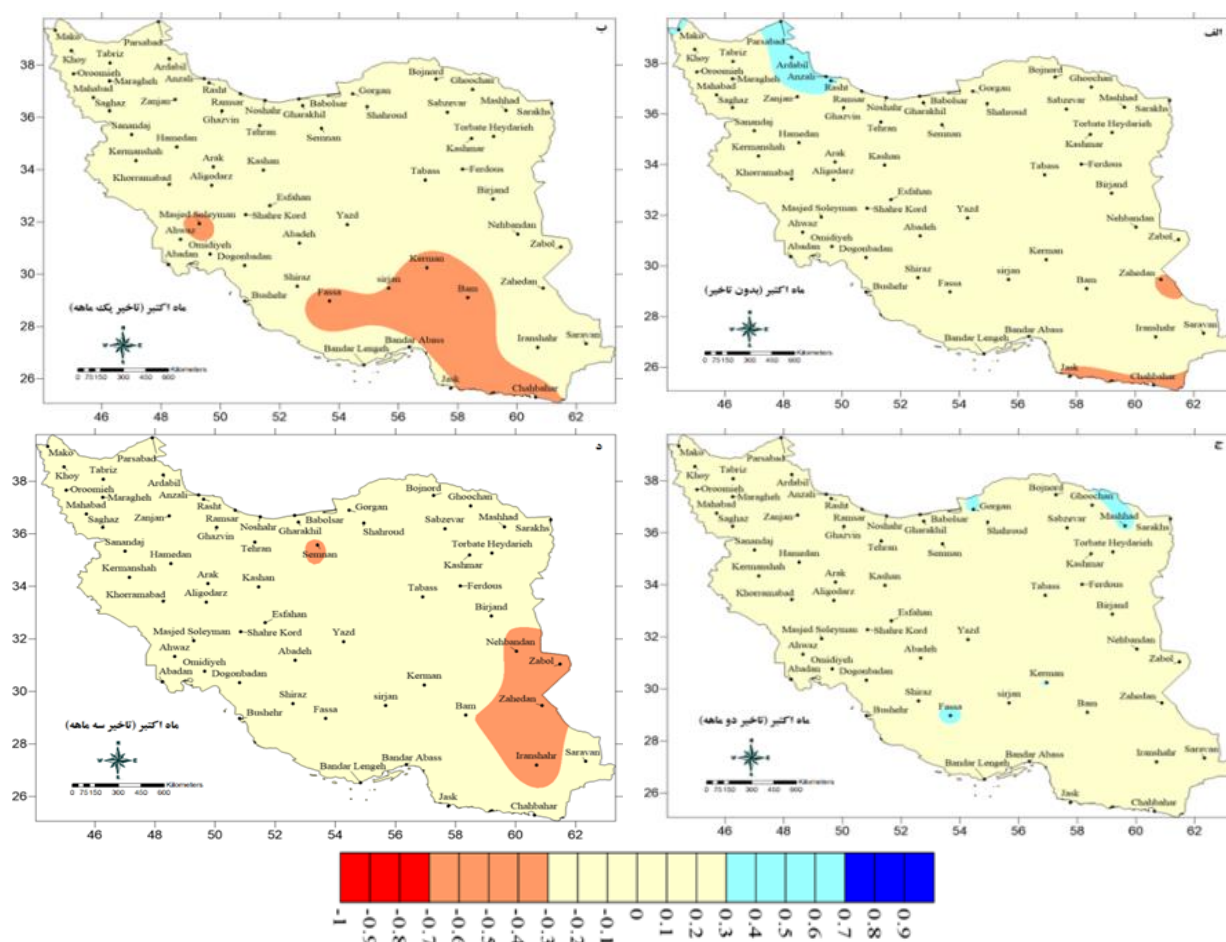
۳-۱- همبستگی خطی بین SPI و NAO در مقیاس ایستگاهی

۳- نتایج و بحث

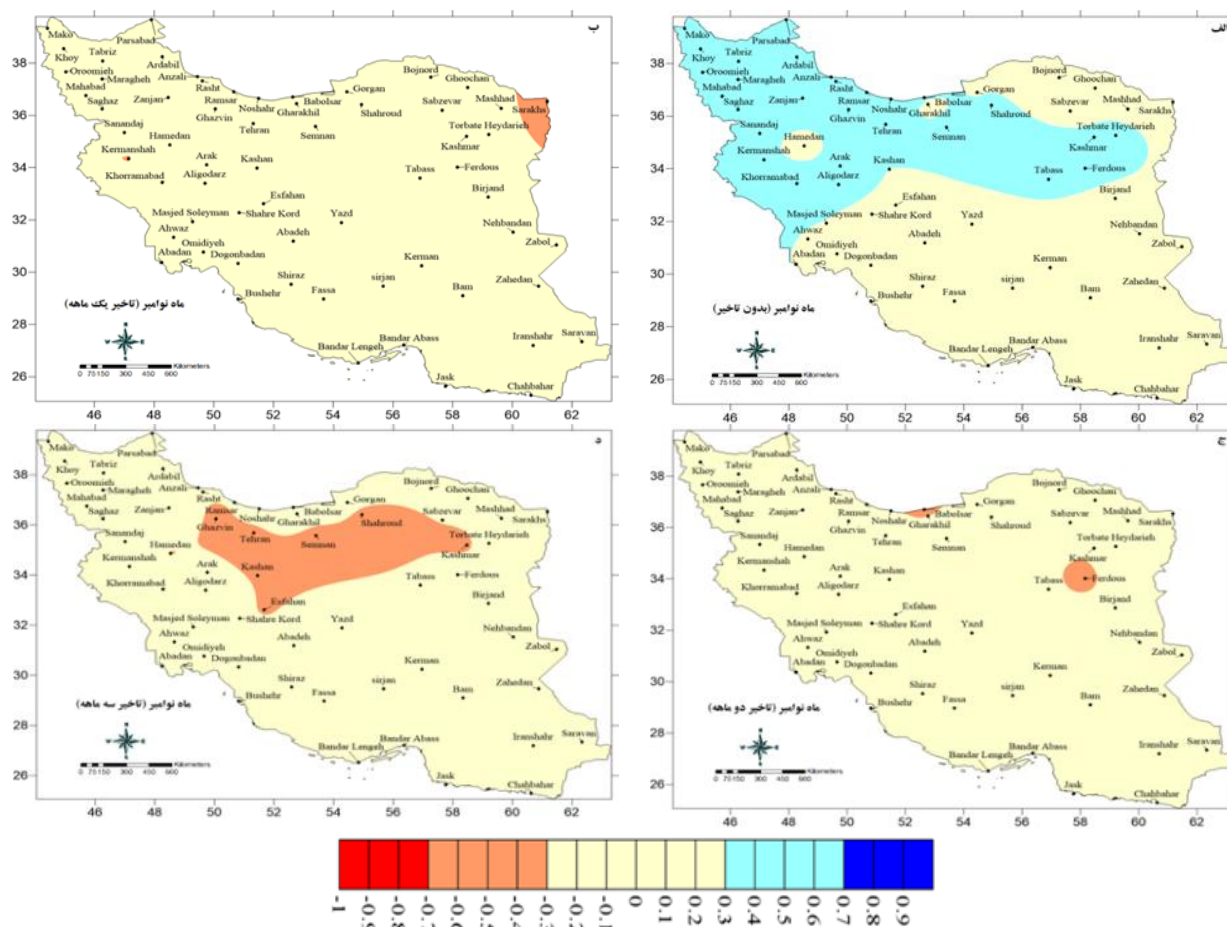
در این پژوهش برای محاسبه و شناسایی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه در گستره ایران زمین از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که یک ابزار بسیار قوی در تحلیل داده‌های بارش به شمار می‌رود، استفاده شد. هدف اصلی این شاخص اختصاص یک مقدار عددی به هر رویداد بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف است تا بتوان بر اساس آن نواحی با اقلیم‌های کاملاً متفاوت را با یکدیگر مقایسه کرد. با محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

چابهار در جنوب شرق ایران دارای یک همبستگی متوسط منفی بوده اند. از بین این هشت ایستگاه نیز تنها سه ایستگاه اردبیل، پارس آباد مغان و بندر انزلی در سطح اطمینان ۵ درصد معنادار بوده اند (شکل ۳ الف). نتیجه‌ای که در این ارتباط برای ایستگاه اردبیل به دست آمده است قبلاً توسط گندمکار و همکاران (۱۳۹۳) نیز مورد تایید قرار گرفته است. در تاخیرهای یک، دو و سه ماهه نیز شرایطی همچون شرایط ارتباط همزمان غالب است با این تفاوت که در تاخیر یک و سه ماهه در جنوب شرق ایران یک همبستگی متوسط منفی مشاهده می شود (شکل ۳ ب و د).

نتایج ضرایب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه های فصل پاییز (اکتبر و نوامبر) نشان می دهند که در ماه اکتبر بیش از ۸۷ درصد از خشکسالی ایستگاه های مورد مطالعه در تاخیرهای زمانی مختلف دارای همبستگی های ضعیف با NAO بوده اند (شکل ۳ الف، ب، ج و د)، به طوریکه این مقدار در تاخیر زمانی دو ماهه به ۹۵ درصد نیز می رسد (شکل ۳ ج). در ارتباط همزمان این ماه مشاهده می شود که ایستگاه های اردبیل، پارس آباد مغان، ماکو، رشت و بندر انزلی در شمال غرب ایران دارای یک همبستگی متوسط مثبت و ایستگاه های زاهدان، جاسک و



شکل ۳- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه اکتبر در چهار تاخیر زمانی: الف) ارتباط همزمان، ب) تاخیر یک ماهه، ج) تاخیر دو ماهه، د) تاخیر سه ماهه.



شکل ۴- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه نوامبر در چهار تاخیر زمانی: (الف) ارتباط همزمان، (ب) تاخیر یک ماهه، (ج) تاخیر دو ماهه، (د) تاخیر سه ماهه.

بیش از ۸۵ درصد خشکسالی ایستگاه‌ها با NAO همبستگی ضعیفی دارند. در ماه دسامبر تنها خشکسالی‌های ۱۱ ایستگاه که عمدتاً در جنوب شرق و جنوب غرب ایران متمرکز بودند همبستگی‌های متوسط منفی با NAO نشان داده‌اند (شکل ۵ الف). در ماه ژانویه این تعداد به ۸ ایستگاه کاهش پیدا می‌کند که تمامی آنها نیز دارای همبستگی متوسط مثبت هستند که فاقد یک الگوی فضایی مشخصی بر روی پهنه ایران هستند (شکل ۶ الف). همین شرایط در ماه فوریه نیز مشاهده می‌شود با این تفاوت که همبستگی متوسط فقط در ۹ ایستگاه مشاهده شد که تمامی آنها نیز یک همبستگی متوسط منفی بودند (شکل ۷ الف). این همبستگی‌های متوسط همچون همبستگی‌های ماه ژانویه فاقد یک آرایش فضایی مشخص بر روی ایران بوده است. قسمتی از یافته‌های این پژوهش که مربوط به شمال غرب

در ماه نوامبر در ارتباط همزمان مشاهده می‌شود که خشکسالی ایستگاه‌های نیمه شمالی ایران یک همبستگی متوسط مثبت با NAO را دارا هستند که بیشتر آنها در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد نیز معنادار می‌باشند (شکل ۴ الف). این ارتباط تنها ارتباطی است که در بین تاخیرهای سه گانه ماه‌های مورد مطالعه، بیشترین همبستگی معنادار را با شاخص NAO دارا می‌باشند. اما در تاخیرهای یک، دو و سه ماهه شرایط متفاوت تری از ارتباط همزمان حاکم است. در این سه تاخیر مشاهده می‌شود که بالای ۹۲ درصد خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه همبستگی بسیار ضعیفی را با NAO نشان داده‌اند و ایستگاه‌هایی که نیز دارای همبستگی متوسط بوده‌اند بسیار اندک و فاقد یک الگوی فضایی مشخص هستند (شکل ۴ ب، ج و د). در ارتباط‌های همزمان سه ماه فصل زمستان مشاهده شد که

درصد (شکل ۹ الف) و در ارتباط همزمان ماه می ۹۸ درصد (شکل ۱۰ الف) خشکسالی ایستگاه ها چنین همبستگی با NAO را دارا بوده اند. پس می توان به روشنی نتیجه گرفت که NAO به طور همزمان نقش بزرگی در تغییرپذیری خشکسالی های ماه های فصل بهار در ایران ندارد. همین وضعیت را نیز می توان در تاخیرهای یک تا سه ماهه ماه های مارس (شکل ۸ ب، ج و د) و می (شکل ۱۰ ب، ج و د) نیز مشاهد کرد. در این تاخیرها مشاهده می شود که بیش از ۹۰ درصد خشکسالی ایستگاه ها با NAO رابطه ضعیفی دارند. تنها در ماه آوریل است که تعداد ایستگاه های دارای همبستگی متوسط مقداری افزایش می یابد به طوریکه در تاخیر یک ماهه ۷ درصد (شکل ۹ ب)، در تاخیر دو ماهه ۲۷ درصد (شکل ۹ ج) و در تاخیر سه ماهه ۱۳ درصد (شکل ۹ د) خشکسالی ایستگاه ها دارای همبستگی متوسط با NAO بوده اند. نحوه توزیع فضایی خشکسالی ایستگاه های دارای همبستگی متوسط با NAO نیز آرایش مشخصی، به استثنای تاخیر دو ماهه آوریل، نشان نمی دهند. در تاخیر دو ماهه آوریل شاهد تراکم ایستگاه های با همبستگی متوسط در شمال غرب و شمال ایران هستیم (شکل ۹ ب). شاید دلیل این همبستگی ضعیف NAO با خشکسالی های ایستگاه های ایران در ماهیت انتقالی فصل بهار و تغییرپذیری زیاد آن در ماه های مختلف باشد.

۳-۲- همبستگی خطی بین SPI و NAO در مقیاس منطقه ای

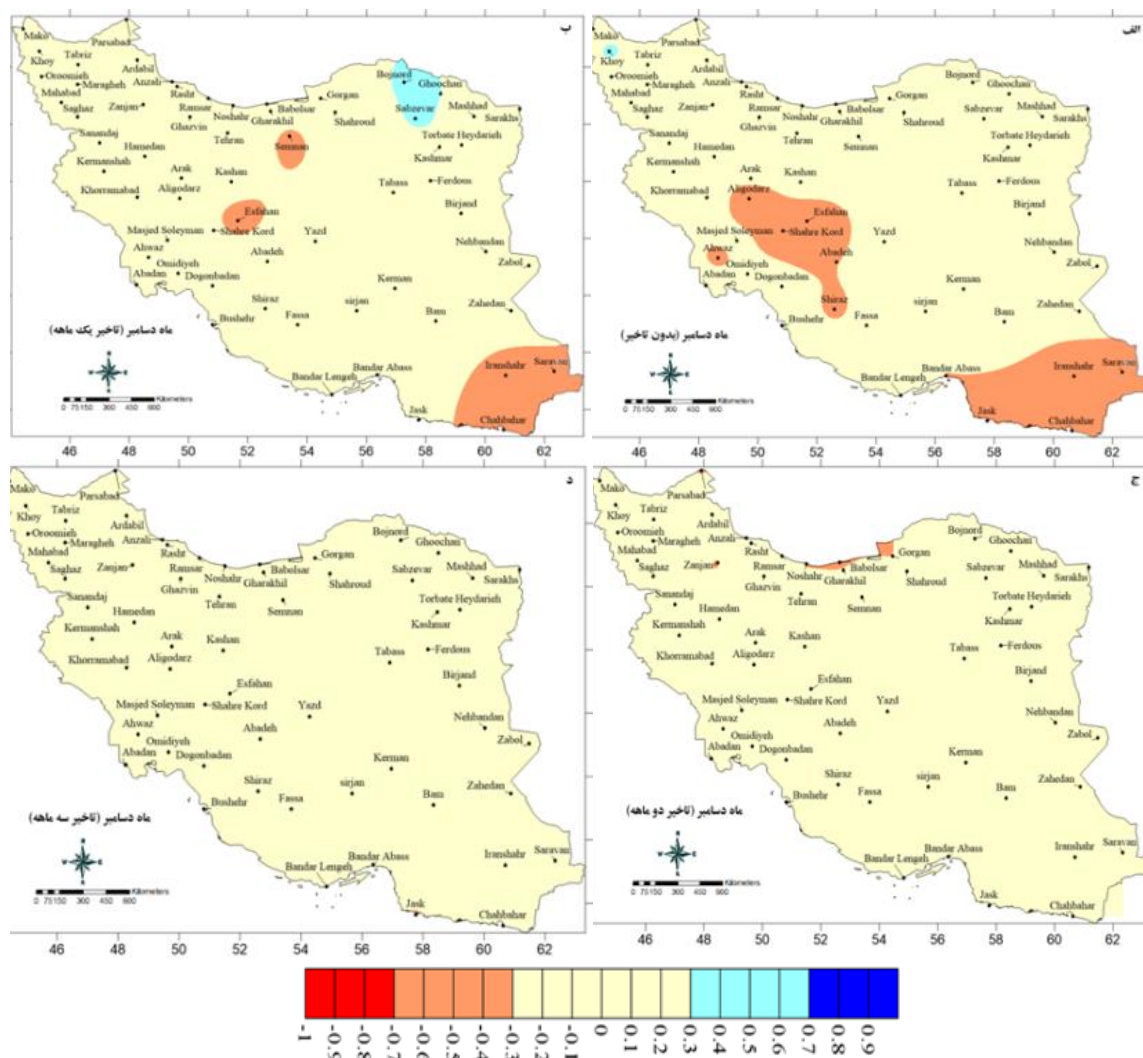
بعد از ارائه نتایج همبستگی خطی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در مقیاس ایستگاهی، همبستگی خطی بین این دو شاخص در یک مقیاس منطقه ای نیز مورد توجه قرار گرفت. همچنانکه در قسمت مواد و روش نیز توضیح داده شده است برای محاسبه این همبستگی ابتدا بر اساس یک معیار فضایی، خشکسالی ها (ترسالی ها) در یک مقیاس ماهانه به سه دسته خشکسالی های فراگیر، نیمه فراگیر و محلی (ترسالی های فراگیر، نیمه فراگیر و محلی) تقسیم بندی شدند. بعد از مشخص شدن طبقات هر ماه، همبستگی بین مقادیر درصدی انواع خشکسالی ها (ترسالی ها) ی هر

ایران می باشد با مطالعات صلاحی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت خوبی دارد. آنها معتقدند که ایستگاه تبریز با شاخص نوسانات اطلس شمالی همبستگی منفی ضعیف و معنی دار بویژه در زمان وقوع خشکسالی ها و ترسالی ها دارد.

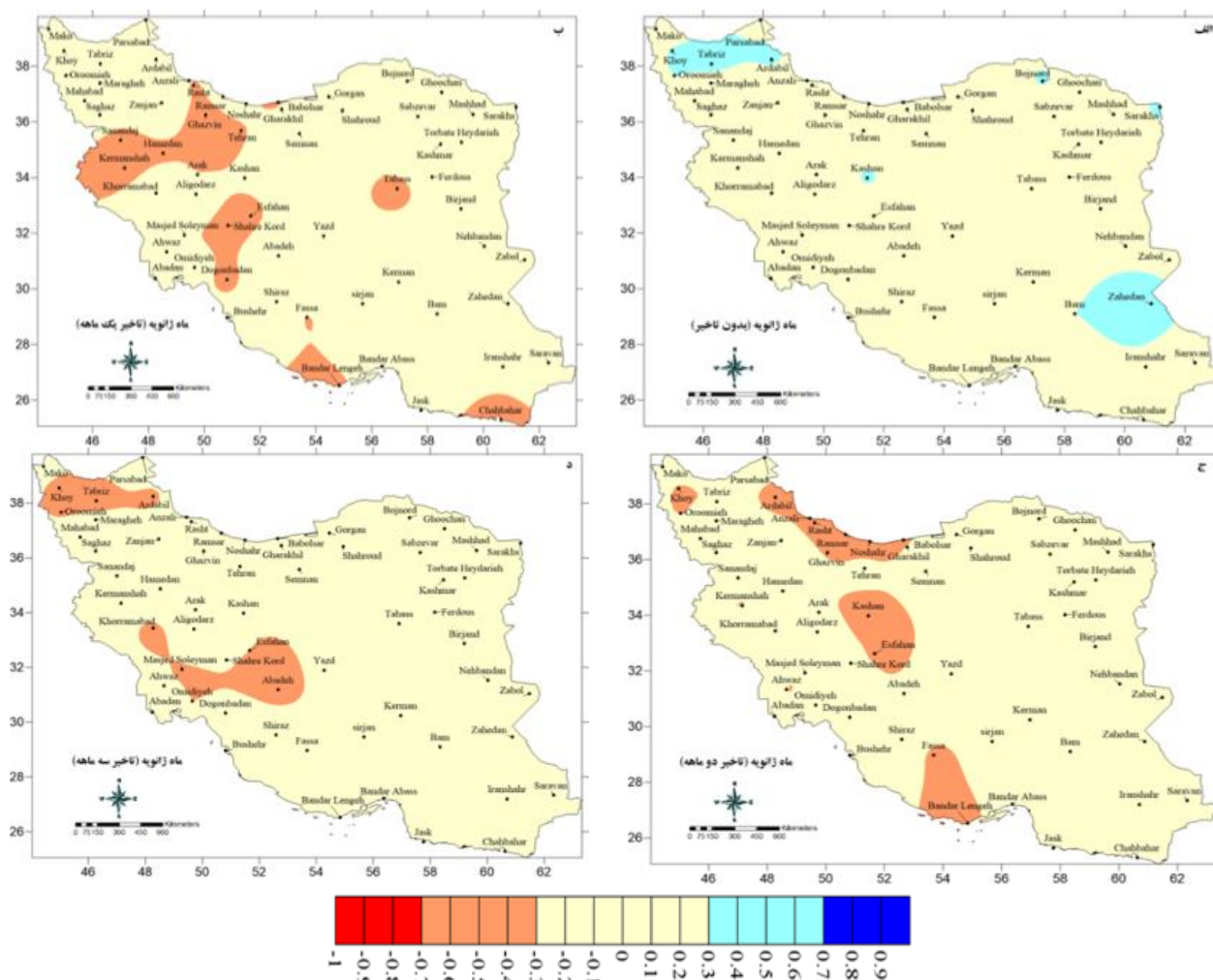
در دیگر تاخیرهای این فصل مشاهده شد که در ماه دسامبر به ترتیب برای تاخیرهای یک، دو و سه ماهه، ۸۷، ۹۲ و ۱۰۰ درصد خشکسالی ایستگاه ها همبستگی ضعیفی با NAO داشته اند (شکل ۵ ب، ج و د). همین وضعیت، اما با مقداری تفاوت، در تاخیرهای سه گانه ماه فوریه نیز مشاهده شد. در این ماه نیز به ترتیب برای تاخیرهای سه گانه به ترتیب ۸۷، ۸۴ و ۹۸ درصد خشکسالی ایستگاه های مورد مطالعه با NAO همبستگی ضعیف داشته اند (شکل ۷ ب، ج و د). اما شرایط ماه ژانویه مقداری متفاوت تر از دو ماه دیگر فصل زمستان بوده اند. در این ماه خشکسالی ایستگاه های بیشتری با NAO همبستگی متوسط داشته اند. تعداد این ایستگاه ها در تاخیر یک ماهه، ۱۴ ایستگاه، در تاخیر دو ماهه ۱۲ ایستگاه و در تاخیر سه ماهه ۹ ایستگاه بوده اند که همبستگی تمامی آنها نیز منفی بوده است (شکل ۶ ب، ج و د). توزیع فضایی این همبستگی های متوسط نیز در تاخیرهای سه گانه به گونه ای بوده است که می توان رگه هایی از منطقه ای بودن آنها به خصوص در شمال غرب و کرانه های جنوبی دریای خزر مشاهده نمود. غیر از این دو ناحیه پراکندگی ایستگاه های دارای همبستگی متوسط به گونه ای بوده اند که به سختی می توان یک آرایش فضایی منطقه ای برای آنها پیدا نمود. نتایج بخش شمال غرب این پژوهش به خصوص ایستگاه های واقع در حوضه دریاچه ارومیه هماهنگی بسیار خوبی با نتایج مطالعات ذالجویی و همکاران (۱۳۹۶) داشته است. آنها نیز در مطالعه اشان به یک همبستگی متوسط بین خشکسالی های حوضه دریاچه ارومیه در تاخیرهای زمانی سه ماهه با NAO دست یافته بودند.

خشکسالی های ماه های فصل بهار در مقایسه با خشکسالی های دیگر فصول بیشترین همبستگی ضعیف را با شاخص NAO داشته اند. به طوریکه در ارتباط همزمان ماه مارس ۹۸ درصد (شکل ۸ الف)، در ارتباط همزمان ماه آوریل ۸۷

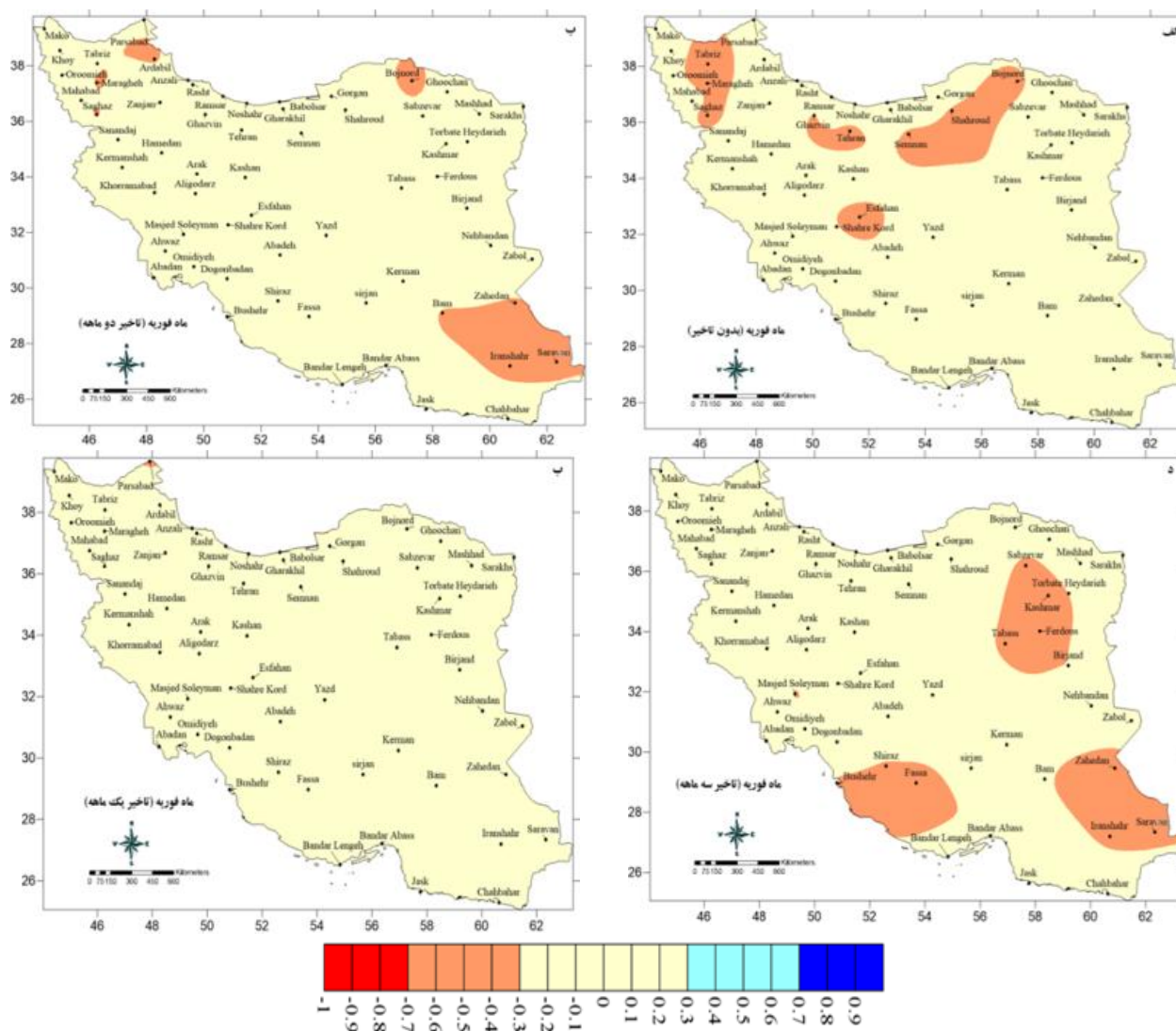
ماه با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در ارتباط
همزمان، تاخیرهای یک ماهه، دو ماهه و سه ماهه مورد



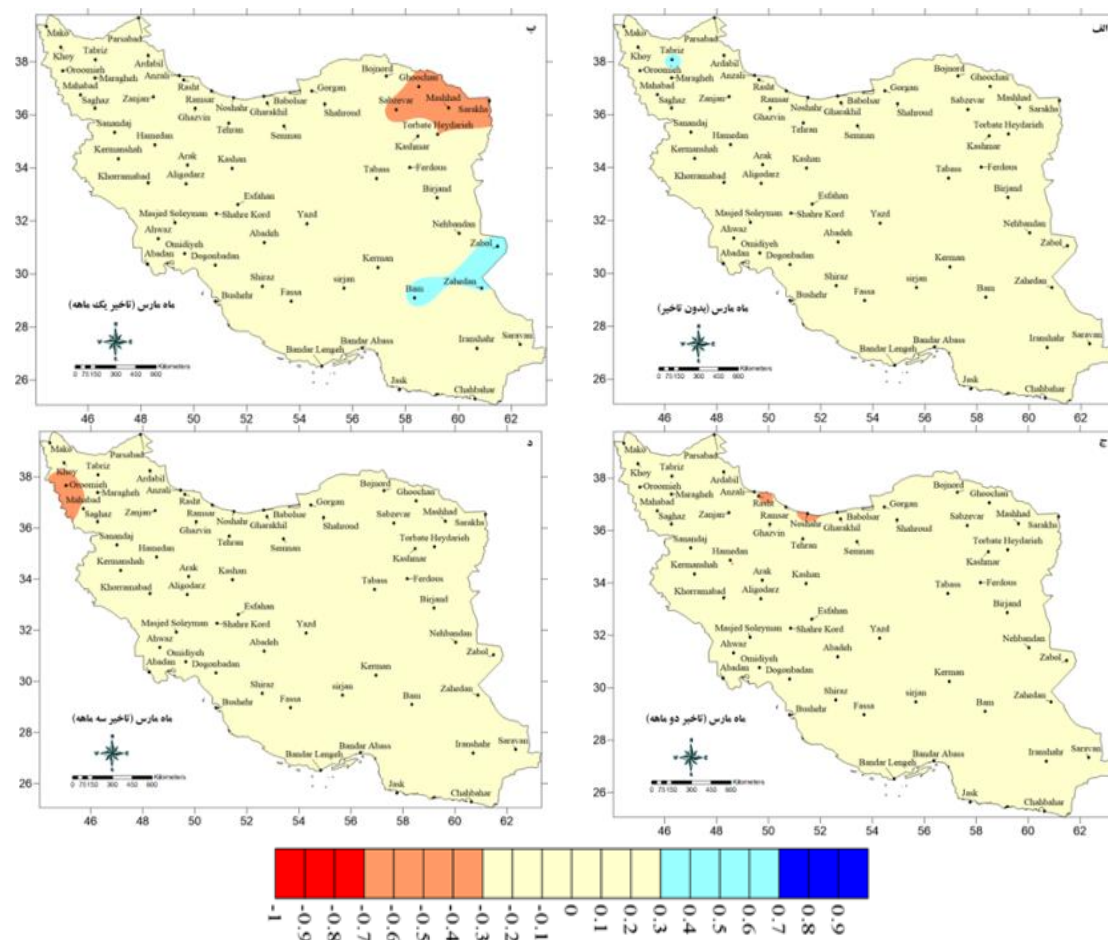
شکل ۵- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه دسامبر در چهار تاخیر زمانی: الف) ارتباط همزمان، ب) تاخیر یک ماهه، ج) تاخیر دو ماهه، د) تاخیر سه ماهه.



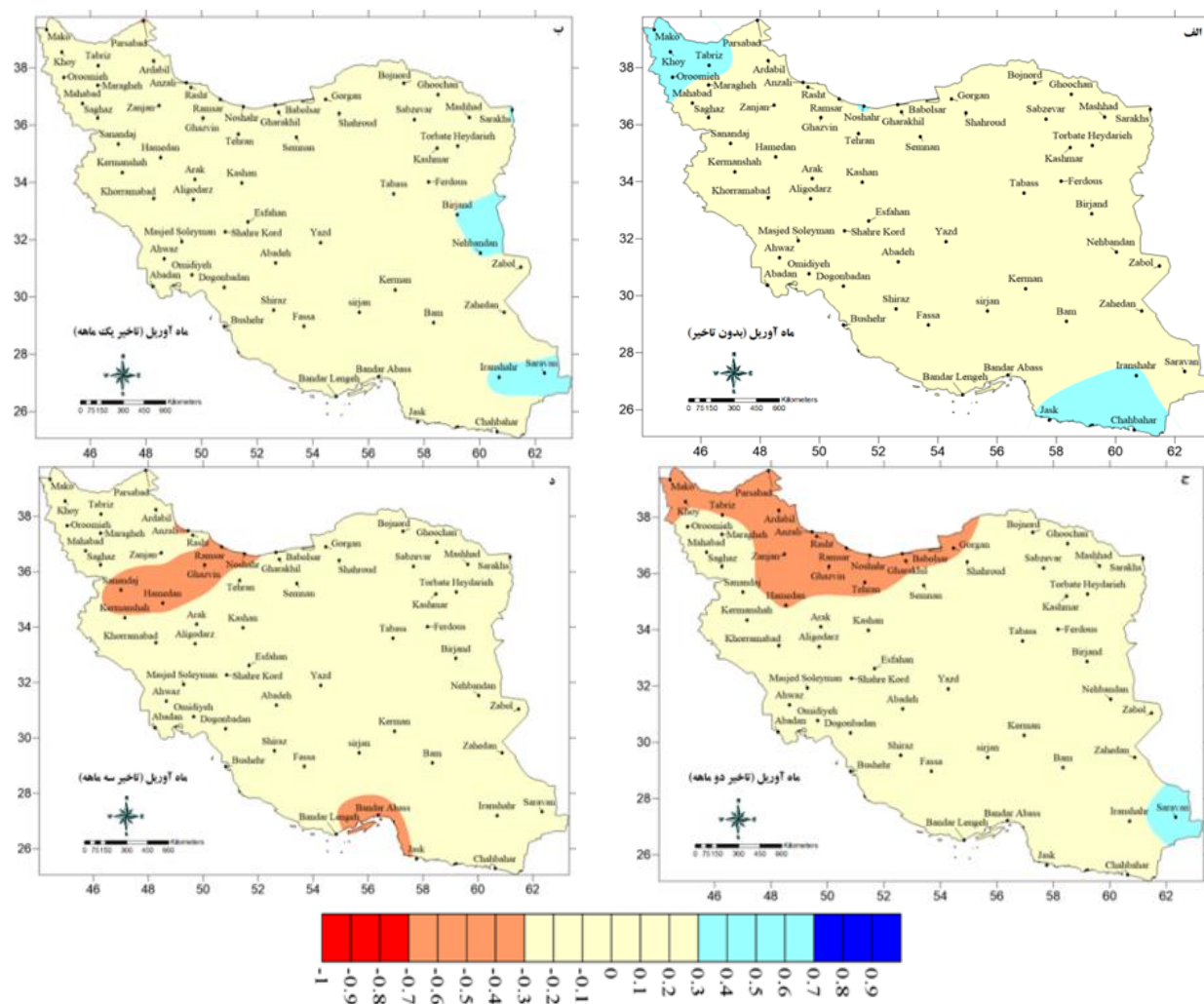
شکل ۶- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه ژانویه در چهار تاخیر زمانی: الف) ارتباط همزمان، ب) تاخیر یک ماهه، ج) تاخیر دو ماهه، د) تاخیر سه ماهه.



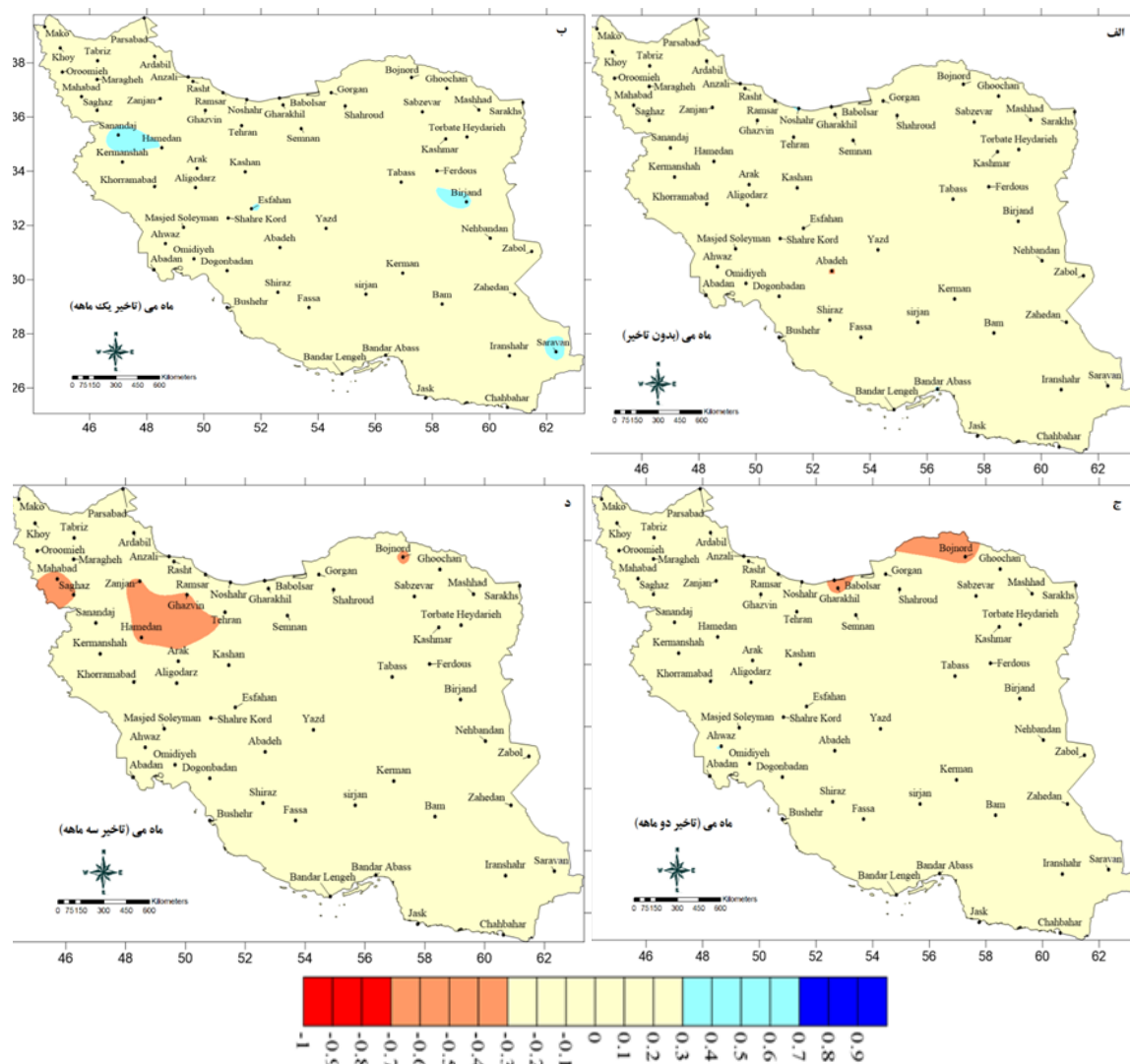
شکل ۷- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطللس شمالی (NAO) برای ماه فوریه در چهار تاخیر زمانی: الف) ارتباط همزمان، ب) تاخیر یک ماهه، ج) تاخیر دو ماهه، د) تاخیر سه ماهه.



شکل ۸- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه مارس در چهار تاخیر زمانی: الف) ارتباط همزمان، ب) تاخیر یک ماهه، ج) تاخیر دو ماهه، د) تاخیر سه ماهه.



شکل ۹- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه آوریل در چهار تاخیر زمانی: الف) ارتباط همزمان، ب) تاخیر یک ماهه، ج) تاخیر دو ماهه، د) تاخیر سه ماهه.



شکل ۱۰- نقشه توزیع فضایی مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه می در چهار تاخیر زمانی: الف) ارتباط همزمان، ب) تاخیر یک ماهه، ج) تاخیر دو ماهه، د) تاخیر سه ماهه.

همبستگی متوسط منفی (-0.42) معنادار بین خشکسالی های منطقه ای ایران و شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) وجود داشت (جدول ۲). نمودار تغییرات سری زمانی دو شاخص خشکسالی های منطقه ای ایران و شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ماه های اکتبر و می در اشکال ۱۱ و ۱۲ آورده شده است. بر اساس این نمودارها به روشنی ارتباط بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) و خشکسالی های منطقه ای ایران در تاخیر سه ماهه برای ماه اکتبر (شکل ۱۱ د) و برای ارتباط همزمان برای ماه می (شکل ۱۲ د) قابل مشاهده است.

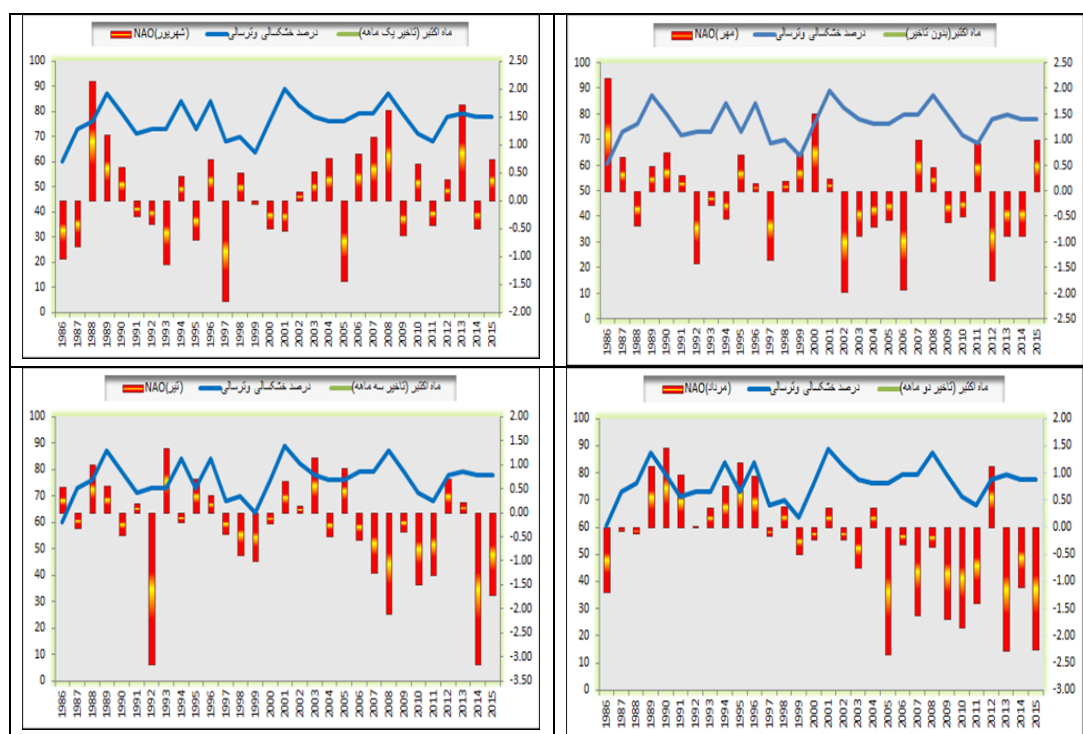
در ارتباط های همزمان مشاهده شد که تنها در یک ماه و آن هم در ماه می یک همبستگی مثبت متوسط (0.419) معنادار در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) و خشکسالی های منطقه ای ایران مشاهده شد. در دیگر ماه های مورد مطالعه، در ارتباط های همزمان، نه تنها همبستگی بالایی بین خشکسالی های منطقه ای ایران و شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) مشاهده نشد بلکه در هیچ سطح احتمالاتی نیز معناداری آنها تایید نشد (جدول ۲). در تاخیرهای سه گانه نیز فقط یک همبستگی متوسط معنادار در بین دیگر ماه ها مشاهده شد و آنهم متعلق به ماه اکتبر و برای تاخیر سه ماهه بود. در این تاخیر یک

جدول ۲- مقادیر ضریب همبستگی بین خشکسالی‌های منطقه ای ایران و شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) برای ۸ ماه مورد

مطالعه در تاخیرهای زمانی مختلف

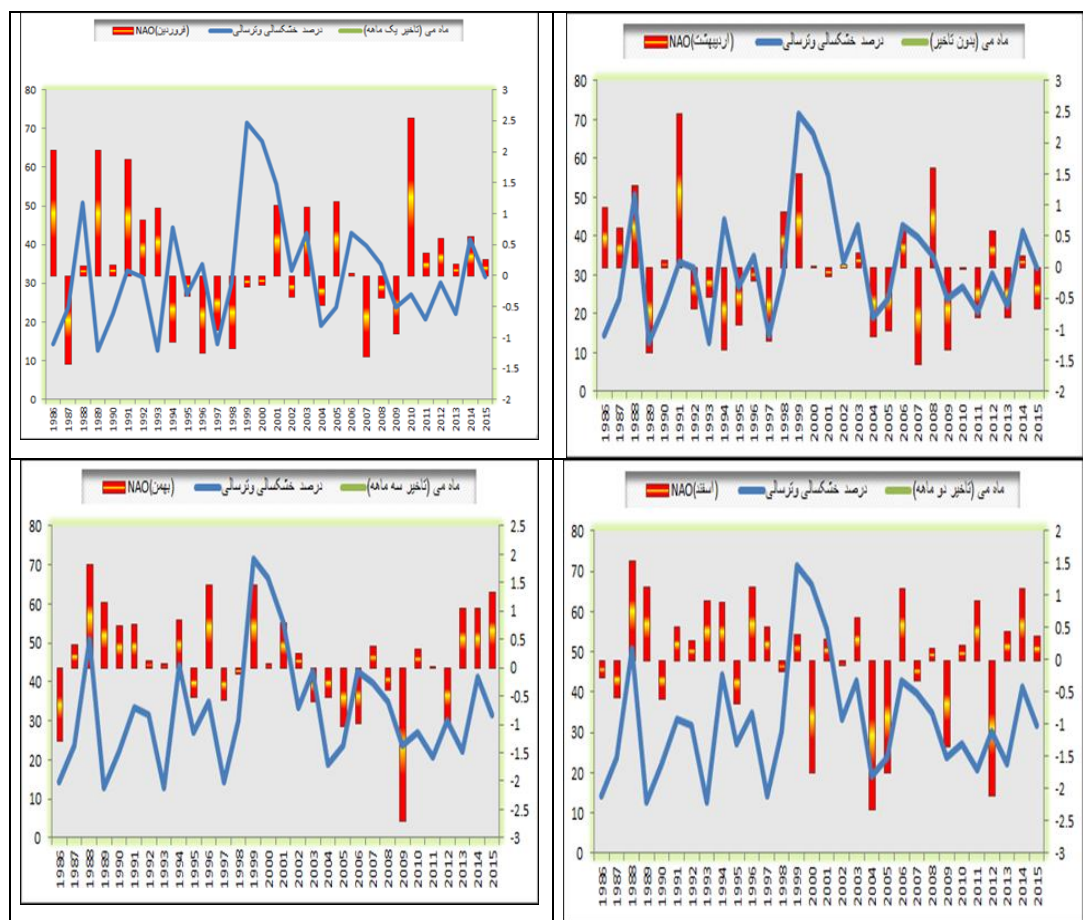
ماه	ارتباط همزمان	تاخیر یک ماهه	تاخیر دو ماهه	تاخیر سه ماهه
اکتبر	-۰/۰۹۱	-۰/۲۲۵	-۰/۱۴۶	-۰/۴۲*
نوامبر	-۰/۰۳۳	۰/۱۴۱	-۰/۱۳۸	۰/۰۷۸
دسامبر	۰/۰۱۸	۰/۰۳۵	۰/۲۲۷	-۰/۱۳۵
ژانویه	-۰/۱۴۷	۰/۲۹۳	۰/۳۲۶	۰/۱۷۸
فوریه	۰/۲۰۱	۰/۰۸۸	-۰/۰۸۸	-۰/۱۶۴
مارس	-۰/۰۵۶	-۰/۰۵۷	-۰/۱۰۹	۰/۱۲۳
آوریل	-۰/۱۶۷	۰/۱۰۹	۰/۳۴۸	۰/۸۷۱
می	۰/۴۱۹*	۰/۰۰۱	۰/۱۱۸	۰/۰۸۸

* سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد



شکل ۱۱- تغییرات سری‌های زمانی درصد خشکسالی و ترسالی منطقه ای ایران با شاخص NAO ماه اکتبر در طول دوره آماری

۱۹۸۶-۲۰۱۶ در تاخیرهای زمانی مختلف



شکل ۱۲- تغییرات سری های زمانی درصد خشکسالی و ترسالی منطقه ای ایران با شاخص NAO ماه می در طول دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶ در تاخیرهای زمانی مختلف

همراه با افزایش شدت و فراوانی خشکسالی ها در ایران به خصوص در مناطق اشاره شده می باشد. در ماه های فصل زمستان الگوی فضایی همبستگی ها به گونه ای است که به سختی می توان یک آرایش فضایی مشخصی را برای آنها پیدا نمود. در این فصل مشاهده شد که بیش از ۸۵ درصد خشکسالی ایستگاه ها در تاخیرهای زمانی مختلف با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) همبستگی ضعیفی دارند. اما همبستگی های متوسط منفی برای برخی از ماه ها در تاخیرهای مختلف هم برای جنوب شرق و هم برای شمال غرب ایران مشاهده شد. این همبستگی های منفی بیانگر این نکته هستند که فاز منفی شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با کاهش شدت و فراوانی خشکسالی ها در این دو قسمت از ایران همراه است. تنها ماهی که خشکسالی های آن در این فصل

۴. نتیجه گیری

تحلیل نتایج مربوط به مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با خشکسالی ها و ترسالی های ایران در یک مقیاس ایستگاهی نشان داد که در فصل پاییز بیش از ۸۷ درصد خشکسالی ایستگاه ها در تمامی تاخیرها، به استثنای ارتباط همزمان ماه نوامبر، همبستگی ضعیفی با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) داشته اند. در ماه نوامبر خشکسالی اکثر ایستگاه های نیمه شمالی به خصوص ایستگاه های شمال غربی ایران یک همبستگی متوسط مثبت معنادار با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) داشته اند. این همبستگی می تواند حاکی از اثر فازهای مختلف این شاخص بر مسیر ورود سیستم های بارانزا از دریای مدیترانه به شمال غرب ایران در فصل پاییز باشد. به طور دقیق تر مقادیر مثبت این همبستگی گویای این مطلب است که مقادیر بالاتر از صفر شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO)

- Bulletin of Isfahan University (Humanities), No. 1, pp. 117-132. (In Persian)
2. Asakereh, H., 2011, Fundamental of Statistical Climatology. Zanjan: Zanjan University press. (In Persian)
 3. Behboodian, J., 2003, Nonparametric Methods. Tehran: Payame Noor University press. (In Persian)
 4. Beniston, M., 2009, Trends in joint quantiles of temperature and precipitation in Europe since 1901 and projected for 2100. Geophysical Research Letters, No. 7, pp. 1-6.
 5. Darand, M., H. Rahmani, 2016, Detecting the impacts of teleconnection patterns on Kurdistan province temperature. *Journal of Geography and Environmental Studies*, No. 5, pp. 117-134. (In Persian)
 6. Fatehi Marj, A., A. Borhani Darian., M. H. Mahdian, 2006, Forecasting seasonal rainfall using teleconnection pattern case study: Orumiyeh Lake Basin. *Journal of Water and Soil Science*, No. 3, pp. 45-58. (In Persian)
 7. Gandomkar, A., Y. Tolouei., K. Esmaeili., R. Dehgani., R. Pourgholami, 2016, Studying effect of North Atlantic Oscillation (NAO) on precipitation of Ardabil station. International conference on sustainable development, strategies and challenges with a focus on agriculture, natural resources, environment and tourism, Tabriz, Iran. (In Persian)
 8. Gavidel Rahimi, Y., M. Farajzadeh Asl., D. Hatami Zarneh, 2016, Analysis of relationship between North Sea-Caspian teleconnection pattern and minimum temperatures in Iran. *Journal of Geographic Space*, No. 52, pp. 137-159. (In Persian)
 9. Gavidel Rahimi, Y., M. Farajzadeh Asl., S. Kakapor, 2014, Investigation of North Sea-Caspian teleconnection pattern effect on autumn rainfall fluctuations in west and northwest regions of Iran. *Journal of geography and planning*, No. 49, pp. 217-230. (In Persian)
 10. Gavidel Rahimi, Y., D. Hatami Zarneh., M. rezaei, 2014, The role on North Sea-Caspian upper atmospheric teleconnection pattern (NCP) in temporal variability of rainfall in southern coastal of Caspian Sea. *Journal of Geographical Sciences*, No. 31, pp. 29-46.
 11. Hurrell, J. W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, No. 269 (5224), pp. 676-679.
 12. Khosravi, M., E. Mesgari, 2017, Spatial analysis of relationship between همبستگی مثبتی با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) داشته است ماه ژانویه و برای ارتباط همزمان بوده است. خشکسالی‌های ماه‌های فصل بهار در مقایسه با خشکسالی‌های دیگر فصول بیشترین همبستگی ضعیف را با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) داشته‌اند. این نکته به روشنی مشخص می‌کند که نوسانات این شاخص نقش بزرگی در تغییرپذیری خشکسالی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه در این فصل ندارند. علاوه بر این، آرایش فضایی محدود ایستگاه‌هایی که خشکسالی و ترسالی آنها همبستگی متوسطی با شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) داشته‌اند نیز الگوی مشخصی را نشان نمی‌دهند. تنها در تاخیر دو ماهه آوریل شاهد تراکم ایستگاه‌های با همبستگی متوسط منفی در شمال غرب و شمال ایران هستیم. شاید دلیل این همبستگی ضعیف NAO با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های ایران در این فصل در ماهیت انتقالی آن و تغییر نوع بارش‌ها از بارش‌های جبهه‌ای به دیگر انواع بارش‌ها باشد. نتایج تحلیل همبستگی مربوط به ارتباط بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های منطقه‌ای نیز نشان داد که رابطه قوی بین این دو متغیر در ایران وجود ندارد و تنها در تاخیر سه ماهه اکتبر و ارتباط همزمان ماه می یک رابطه متوسط معنادار مشاهده است که این رابطه برای ماه اکتبر منفی و برای ماه می مثبت بوده است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در یک رابطه خطی قادر به تبیین سهم بزرگی از تغییرپذیری خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران چه در مقیاس ایستگاهی و چه در مقیاس منطقه‌ای نبوده است. لذا با توجه به اینکه ساختار اقلیم‌شناسی بارش‌های ایران بسیار پیچیده و همچنین الگوهای همدیدی که در ماه‌ها و فصل‌های مختلف ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند مختلف است، توجه به مدل‌های غیر خطی جهت مطالعه این رابطه بسیار ضروری می‌باشد.

منابع

1. Akbari, T., S. A. Masoudian, 2007, An analysis of relationship between monthly temperature of Iran and teleconnection patterns of northern hemisphere. *Research*

18. Salahi, B., A. M. Khoureddoust., Y. Ghavidel Rahimi, 2007, Linking between oscillations of North Atlantic atmospheric-oceanic circulation and droughts in East Azerbaijan. *Geographical Research Quarterly*, No. 60, pp. 147-156. (In Persian)
19. Sen, O. L., A. Unal., D. Bozkurt., T. Kindap, 2011, Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections. *Environmental research letter*, No. 6, pp. 1-9.
20. Turkes, M., E. Etlat, 2005, Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic oscillation during the period 1930-2000. *Theoretical and Applied climatology*, No. 76, pp. 31-40.
21. Uppenbrink, J, 1997, Nota bene: Climate - Seasonal climate prediction. *Science*, No. 277, p. 1952.
22. Wallace, J. M., D. S. Gutzler, 1981, Teleconnections in the geo-potential height field during the Northern hemisphere winter. *Monthly weather review*, No. 109, pp. 784-812.
23. Watts D. G., M. B. Douglas, M. B, 1988, Nonlinear regression analysis and its applications. Michigan: Wiley Press.
24. Zoljoodi, M., B. Sanaei., P. Ghafarian, 2017, Studying the relationship between wet and dry periods of Urmia Lake basin and teleconnection pattern of North Atlantic Oscillations. *Geographical Researches Quarterly Journal*, No. 2, pp. 106-119. (In Persian).
- teleconnection patterns and monthly temperature of northwest of Iran. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, No. 21, pp. 203-214. (In Persian)
13. McKee, T. B., N. J. Doesken., J. Kleist, 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, USA.
14. McKee, T. B., N. J. Doesken., J. Kleist, 1995, Drought monitoring with multiple time scales. In 9th AMS conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, USA.
15. Mazidi, A., M. Fatemi., Narangi Fard, M, 2015, Analyzing the Relationship between the Patterns of tele-connection with dry and wet Periods at synoptic stations of Central Iran. The 1st International Conference on Geographical Sciences (ICGS2015), Kharazmi Advanced Institute of Science and Technology, Shiraz, Iran. (In Persian)
16. Rahimi, D., K. Abdollahi., S. Hasheminasab, 2016, Identify Tele-connection Patterns affecting on Rainfall in Karoon Basin. *Iranian Journal of Ecohydrology*, No. 1, pp. 95-105. (In Persian)
17. Salahi, B., Z. Hajizadeh, 2013, An analysis on relationship between North Atlantic Oscillation and sea surface temperature of Atlantic Ocean with rainfall & temperature variability in Lorestan province. *Geographical Researches Quarterly Journal*, No. 3, pp. 119-130. (In Persian)